

Sistem Monitoring Kelembapan Tanah, Suhu, pH dan Penyiraman Otomatis Pada Tanaman Tomat Berbasis *Internet of Things*

Monitoring System for Soil Moisture, Temperature, pH and Automatic Watering of Tomato Plants Based on Internet of Things

Rudy Gunawan^{1,*}, Tegas Andhika², Sandi², Fadil Hibatulloh²

¹ Progam Studi Teknik Elektro, Universitas Sangga Buana

Jl.PH.H. Mustofa No.68, Cikutra, Cibenyng Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat 40124

² Program Studi Teknik Elektro, Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipati Ukur No.112-116, Lebakgede, Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132

*Email : rudy.gunawan@usbykp.ac.id

Abstrak – Di era digitalisasi sekarang ini hampir semua peralatan memanfaatkan teknologi. Salah satu pemanfaanya dapat diterapkan pada pertanian yaitu *internet of things* untuk *memonitoring* ekosistem pertanian dan dapat dijadikan acuan bagi para petani dalam mengambil keputusan. Sistem ini di rancang agar para petani dapat mengetahui informasi parameter ukur yakni kelembapan tanah, suhu, pH serta penyiraman dan pemupukan cair dilakukan secara otomatis yang mempengaruhi untuk pertumbuhan tanaman tomat tersebut, dan tentunya mempermudah aktifitas petani. Dengan diterapkannya sistem ini diharapkan mampu memberikan efek baik bagi para petani dan menghasilkan kualitas produk yang sehat untuk dikonsumsi, serta dapat meminimalisir dari kegagalan panen. Pengujian dan penempatan sistem dilakukan didalam sebuah *greenhouse* dimana pada beberapa parameter ukur seperti suhu udara dan pH dengan menggunakan mikrokontroller, sensor DHT11, sensor kelembapan tanah, sensor pH dan ESP8266 yang terhubung dengan jaringan internet untuk mengirim informasi hasil pada sebuah *smartphone* yang sudah dilengkapi dengan aplikasi Blynk. Data ideal yang dibutuhkan sebuah tanaman tomat yaitu data *level* optimal kelembapan tanah antara 60%-80% agar tidak terlalu kering maupun basah, untuk suhu diperlukan 24-28 derajat celcius, dan pH yang stabil 5-6. Dengan menggunakan metode kalibrasi regresi linear dengan persamaan untuk mencari pH yaitu $X(pH) = (330.46 - Y(ADC)) / 45.49$ didapatkan hasil cukup akurat dimana galat pengujian yaitu sebesar 1.59%, sedangkan sensor suhu mendeteksi galat rata-rata pada pengujian satuan waktu yaitu 0.92%. Sementara pengujian keseluruhan sistem didapat hasil yang variatif tergantung pengujian mengikuti satuan waktu selama 24 jam, namun tanaman tomat yang diteliti memiliki hasil yang cukup ideal dimana nilainya yaitu berkisar 30 – 80% untuk kelembapan tanah, dan >5.5 – 7.2 untuk pH.

Kata Kunci : *Internet of things*, *monitoring*, tanaman tomat, parameter ukur, *greenhouse*

Abstract - At present digitalization is almost all equipment utilizing technology. One of the benefits can be applied to agriculture, namely the *internet of things* to monitor agricultural ecosystems and can be used as a reference for farmers in making decisions. This system is designed so that farmers can know the parameters of measurement information, namely soil moisture, temperature, pH and watering and liquid fertilization are carried out automatically which affects the growth of the tomato plant, and certainly facilitates the activities of farmers. With the implementation of this system, it is expected to be able to provide good effects for farmers and produce quality products that are healthy for consumption, and can minimize crop failures. System testing and placement is carried out in a *greenhouse* where in several measuring parameters such as air temperature and pH by using a microcontroller, DHT11 sensor, soil moisture sensor, pH sensor and ESP8266 connected to the internet network to send information on a *smartphone* equipped with an application Blynk. The ideal data needed by a tomato plant is the optimal data level of soil moisture between 60% -80% so that it is not too dry or wet, for temperatures needed 24-28 degrees Celsius, and a stable pH 5-6. By using the linear regression calibration method with the equation to find the pH, namely $X(pH) = (330.46 - Y(ADC)) / 45.49$, the results are quite accurate where the test error is 1.59%, while the temperature sensor detects the mean error in the time unit test ie 0.92%. While the overall testing of the system obtained varied results depending on the test following a 24-hour time unit, but the tomato plants studied had quite ideal results where the values ranged from 30 - 80% for soil moisture, and > 5.5 - 7.2 for pH

Keywords : *Internet of things*, *monitoring*, tomato plants, measuring parameters, *greenhouse*

I. PENDAHULUAN

Tomat merupakan jenis sayuran buah yang memiliki permintaan tinggi dipasaran karena disukai oleh hampir seluruh masyarakat di Dunia.

Tomat merupakan salah satu hasil pertanian yang mewakili komoditas penting diseluruh dunia dan bagian penting dari makanan manusia. Tomat adalah salah satu sayuran buah yang banyak di konsumsi dalam keadaan mentah maupun yang sudah dimasak, selain itu tomat juga digunakan untuk bahan produk-produk olahan bumbu dapur dan sabun-sabun kecantikan karena memiliki kaya akan vitamin A, vitamin C, yang sangat bermanfaat untuk kesehatan manusia[1].

Berdasarkan data *The Word Bank* 2013, sekitar 2,5 miliar orang dari 86% Pedesaan di dunia sebagian besar masyarakatnya masih bergantung pada produksi pertanian sebagai sumber pendapatan penghidupannya. Maka prospek perkembangan tomat di dunia sangat meningkat permintaannya. Pada tahun 2009 sekitar 129,7 Juta Ton tomat di produksi di Amerika Serikat, Turki, Mexico, Brasil, China dan Indonesia di atas lahan 5,3 Juta ha[2].

Berbagai usaha para petani tomat dilakukan agar mendapat tomat yang segar dan baik untuk dikonsumsi, yang terbebas dari segala bentuk gangguan hama dan sejenisnya yang dapat merusak kualitas dan produktivitas produksi. Pengecekan kondisi tanah sangat penting bagi pertumbuhan tomat yang harus memiliki kelembapan optimal antara 60%-80% agar tidak terlalu kering maupun basah[3]. Suhu yang harus cukup teratur agar tomat yang dihasilkan dapat memiliki keunggulan. Baiknya suhu ideal yang diperlukan adalah 24-28 derajat celsius, karena jika terlalu tinggi buah tomat akan cenderung berwarna kuning, dan bila terlalu fluktuatif buah tidak akan merata warnanya[4]. Tomat pula memerlukan intensitas cahaya yang baik sekurang-kurangnya 10-12 jam dalam sehari, dan pH yang stabil diantara 5-6, agar tidak terlalu asam yang mengakibatkan unsur hara tanaman tomat menjadi terganggu[5].

Selain itu, perlu diperhatikan secara berkala kandungan Nutrisi tanaman seperti pupuk, air dan obat-obatan pendukung pertumbuhan tanaman tomat untuk menjaga kualitas buah dan kondisi kesuburan tanah agar tetap dapat memproduksi tanaman dengan baik. Maka dari itu Penyiraman harus dilakukan pagi dan sore hari agar kondisi tanaman dan kesuburan tanah tetap terjaga kualitasnya, namun pemupukan

sendiri biasanya diberikan pada saat tomat berusia 1 hari dengan menggunakan pupuk kandang. Pupuk cair biasanya diberikan pada saat tomat berusia 15-20 hari supaya organnya sehat dan tidak di terserang hama[6].

Namun dibalik permintaan buah tomat yang tinggi dan upaya perawatan yang dilakukan secara tepat oleh petani tetap saja mengalami kegagalan panen pada tanaman tomat yang di sebabkan oleh faktor cuaca ekstrim, kekeringan dan terserang hama sehingga mengakibatkan kegagalan panen yang pernah dirasakan di seluruh dunia. Contoh pada tahun 2015 Afrika pernah mengalami kegagalan panen yang cukup serius dikarenakan terserang hama dan faktor cuaca. Sehingga menimbulkan kerugian bagi para petani dan penghasilan produksi menurun[7].

Penelitian dan perancangan sistem untuk menyelesaikan permasalahan di dunia pertanian pernah dilakukan sebelumnya oleh Sakthipriya dari Departemen Teknik dan Ilmu Komputer, *Bharat University*, India. Prinsipnya untuk *monitoring* beberapa parameter ukur seperti kelembapan tanah, suhu, pH tanah dan penambahan beberapa sensor untuk mendeteksi keabahan pada daun. dengan menggunakan metode *Short Message Service* (SMS) untuk mengetahui informasi dari kondisi di lahan tersebut. Penerapan ini ditempatkan di sebuah pesawahan yang cukup luas[8].

Selain itu, hal yang sama pernah dilakukan oleh Francisco Javier dari Departemen Teknologi Komputer, *University of Alicante*, Spain. Pemanfaat *internet of things* untuk pertanian sangat membantu petani untuk mengontrol dan *monitoring level* air, kelembapan tanah dan suhu untuk mengetahui kondisi tanaman tersebut dengan beberapa bantuan sensor[9].

Dari penjelasan di atas maka Budidaya tomat haruslah diadakan penambahan *support system* agar tercapainya iklim produksi yang tepat. Salah satu *support system* yang saat ini sedang mengalami tingkat peminat yang tinggi merupakan sistem *Internet of Things*, dimana teknologi tersebut dapat ditujukan untuk objek yang berbeda, dengan kemajuan teknis yang sangat pesat memungkinkan pengguna dapat mengatur dan mengelola objek (tanaman produksi) dengan bantuan jaringan internet. Dengan memanfaatkan bantuan *internet of things* (IoT), maka sistem yang akan diteliti dapat memonitoring parameter ukur di kawasan tanaman tomat tersebut dengan efektif, seperti kelembapan tanah, pH, Suhu udara[10].

Dengan menggunakan prinsip *greenhouse* Serta penyiraman dan pemupukan secara otomatis maka sistem ini semakin baik dan tepat. Penerapan sistem tanam menggunakan prinsip *greenhouse* salah satu langkah yang efektif untuk mendukung pertumbuhan pertanian yang dapat diterapkan di lahan yang ada di perkotaan, prinsip ini sangat ramah lingkungan sehingga bisa meminimalisir pemanasan global[11].

Dengan menghubungkan sebuah sistem *monitoring*, penyiraman dan pemupukan otomatis yang terhubung dengan jaringan internet diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada di lingkungan para petani dan untuk menghasilkan kualitas produksi yang baik. Selain itu juga dapat meminimalisir kegagalan panen yang disebabkan oleh faktor cuaca, hama dan lain sebagainya. Dengan memanfaatkan *internet of things* untuk teknologi pertanian maka langkah ini sangat tepat untuk memantau dan mengontrol kondisi tanaman untuk menghasilkan produksi yang lebih baik dan terhindar dari kegagalan panen[12].

Diadakannya penelitian ini untuk mengidentifikasi permasalahan di lingkungan para petani tomat dikarenakan masih banyak yang menggunakan sistem manual layaknya petani masih datang langsung ke lahan setiap harinya sehingga dapat menyita waktu para petani dan belum banyak yang mengetahui permasalahan dari setiap produksi tanaman tomat mulai dari kelembapan tanah, pH dan suhu ruangan yang sangat mempengaruhi terhadap tanaman tersebut. Selain itu belum terlalu banyak juga *internet of things* (IoT) yang perannya mendukung sistem dalam dunia pertanian, hal ini untuk membantu perawatan dan pemantauan dari jarak jauh tanpa harus terjun langsung ke lahan setiap harinya.

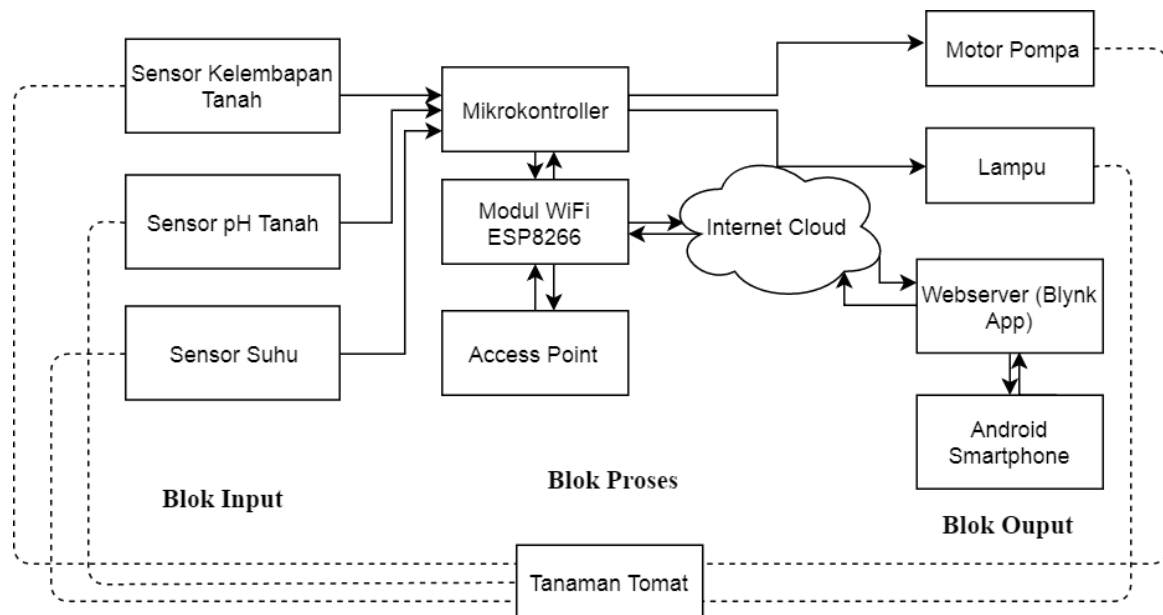
Untuk melengkapi sistem agar dapat bekerja dengan baik, maka diperlukan perancangan berbasis *internet of things* (IoT) dan pengoneksian dengan Aplikasi *smartphone* untuk sebuah pendukung sistem pertanian yang dapat membantu para petani mengetahui dan mengontrol kualitas buah tomat di lahannya supaya terhindar dari kegagalan panen yang disebabkan tidak terawatnya tanaman karena susah membagi waktu dengan kegiatan lain. Dengan diterapkannya sistem *monitoring* berbasis *internet of things* maka dapat mempermudah dari pekerjaan yang serba lama sehingga dapat memakan waktu dan tidak perlu lagi menggunakan tenaga kerja manual hanya cukup mengoneksikan sistem dan membuka aplikasi *smartphone* untuk mengetahuinya hasil datanya.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk merancang sebuah sistem rekayasa teknologi yang dapat membantu aktivitas petani. Selain itu sistem ini di rancang untuk memberikan informasi melalui sebuah aplikasi *smartphone* yang sudah tersambung dengan sistem. Informasi yang di dapat berupa data parameter ukur, kondisi lahan yang dapat mempengaruhi tumbuhan tomat, yakni mulai dari informasi kelembapan tanah, suhu, pH serta penyiraman dan pemupukan secara otomatis pada tanaman tomat di atas lahan yang telah di tentukan ukurannya sehingga dapat merata saat penyiraman dan pemupukannya.

Dengan pemanfaatan *internet of things* (IoT) sehingga dapat mengurangi beban aktivitas para petani juga memudahkan untuk mengetahui informasi data tanaman dan terkontrol kondisinya secara optimal dari jarak jauh melalui aplikasi *smartphone* yang telah di tentukan dan bisa dilakukan kapan saja di berbagai tempat asalkan terhubung dengan jaringan internet tanpa harus terjun langsung ke lahan setiap harinya. Dan tidak perlu lagi menggunakan cara kerja manual yang cukup memakan waktu dan menambah beban aktivitas bagi para petani. Sehingga para petani dapat dengan bebas melakukan aktivitas lain. Dengan adanya sistem ini semoga memberikan kontribusi yang baik dan tepat untuk petani dan memberikan dampak hasil panen yang optimal serta menghindari dari kegagalan panen yang dapat merugikan para petani dan menurunkan angka produksi tomat.

II. METODOLOGI

Sistem *monitoring* yang akan dirancang merupakan sistem yang terdapat didalam sebuah *mini greenhouse* yang dirancang dengan beberapa kriteria serta alasan penggunaan yang harus sesuai dengan kebutuhan. Disamping perancangan *greenhouse*, akan dijelaskan pula pada bagian ini yaitu perancangan keseluruhan sistem *monitoring* tanaman tomat dengan parameter kelembapan tanah, suhu ruangan didalam *greenhouse*, dan pH tanah. Perancangan sistem melibatkan beberapa bagian penyusun, yaitu blok masukan, proses, dan keluaran. Blok inilah akan menentukan berhasil tidaknya proses sistem yang di rancang. Blok diagram sistem dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Dari gambar blok diagram **Gambar 1** didapat tiga bagian utama yaitu masukan, prose, dan keluaran. Dari setiap bagian blok mempunyai fungsi dan peranan masing-masing yang membuat sistem dapat bekerja dengan baik. Bagian masukan berfungsi menerima masukan dari parameter yang diukur dengan menggunakan sensor, kemudian bagian proses bekerja sebagai pusat pengendali atau pengolah sistem, dan bagian keluaran bekerja sebagai indikator dan keluaran yang hasilnya dapat diamati dan diukur.

Sesuai dengan blok diagram di gambar 1 proses berjalannya sistem monitoring yaitu :

1. Parameter ukur seperti suhu, kelembapan, dan pH tanah merupakan blok masukan yang dapat diukur oleh sensor, keluaran sensor tersebut diubah ke besaran tertentu seperti tegangan, arus, maupun hambatan.
2. Nilai pembacaan sensor tersebut dikirim dan dibaca oleh mikrokontroler di bagian proses dan pada saat yang bersamaan pembacaan nilai parameter tersebut dikirim ke app server dengan bantuan modul WiFi yang terhubung dengan internet.
3. Hasil pembacaan parameter ukur dapat diamati dalam sebuah smartphone yang terpasang aplikasi. Didalam sebuah aplikasi tersebut terdapat panel monitor dan panel kontrol.
4. Untuk bagian output lain yaitu lampu dan motor pompa bekerja pada saat nilai pembacaan parameter menyentuh ambang batas (*threshold*) yang ditentukan sebelumnya.

Setelan ambang tersebut berada pada perancangan program *software*.

Seperti yang telah disinggung di bagian sebelumnya bahwa *greenhouse* memiliki beberapa kriteria dan juga jenis yang menjadi pertimbangan dalam pengaplikasiannya. Perancangan *greenhouse* akan menggunakan tipe *free-standing* karena mudah dirawat dan tidak perlu mencari selokan sebagai irigasi, dikarenakan *greenhouse* yang akan dirancang yaitu dengan ukuran kecil. Selain tipe, yang menjadi bahan pertimbangan lain untuk merancang *greenhouse* yaitu jenis atap, karena jenis atap ini dapat mempengaruhi iklim sekitar *greenhouse* seperti kekuatan cahaya matahari, kelembapan dan suhu, nutrisi dan lain-lain[13].

Untuk merancang *greenhouse* diperlukan ukuran yang tepat, tentunya agar dapat menyesuaikan dengan kebutuhan, dikarenakan didalam *greenhouse* tersebut hanya terdapat dua tanaman tomat yang diteliti, dan juga sistem *monitoring* keseluruhan yang terpasang didalam *greenhouse* maka ukuran *greenhouse* yang dirancang tidak terlalu besar. Menggunakan tipe atap even span dimana atap berbentuk segitiga sama sisi dan untuk bahan atap dan bagian sisi-sisi *greenhouse* menggunakan bahan plastik jenis polietilena dikarenakan bahan tersebut lebih murah dibandingkan dengan bahan kaca. Untuk keperluan penelitian ini, *greenhouse* yang dirancang menggunakan ukuran 1m panjang 1.5m lebar x 1.5m tinggi. Dapat dilihat pada **Gambar 2** [14].



Gambar 2. Mini Greenhouse

Pemilihan komponen bersifat mutlak dalam sebuah perancangan sistem, karena dengan pemilihan komponen yang baik maka akan menentukan kualitas sistem, efisiensi, efektivitas, akurasi dari sistem yang akan dirancang. Pemilihan jenis komponen perlu memperhatikan beberapa hal seperti kualitas komponen, keakuratan pembacaan, kecepatan, keandalan dan sensitivitas terhadap pengaruh internal maupun eksternal, dan tidak lupa juga harga komponen yang harus relevan dengan sistem yang akan dibuat.

A. Mikrokontroler Arduino

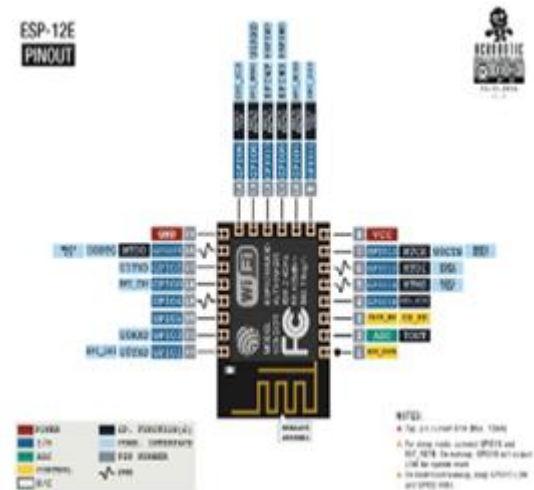
Jenis mikrokontroler Arduino yang digunakan untuk perancangan sistem monitoring ini adalah jenis Arduino Uno R3. Arduino Uno berbasis ATmega328 (*datasheet*). Memiliki jumlah pin digital I/O sebanyak 14 (enam dapat digunakan sebagai PWM), memiliki 6 pin analog, 16MHz kristal, dan koneksi USB untuk unggah program. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa untuk keperluan perancangan, Arduino Uno tepat dipilih sebagai mikrokontroler[15]. **Gambar 3** mikrokontroler arduino dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 3. Mikrokontroler Arduino

B. Modul WiFi (ESP8266-12F)

Modul WiFi jenis ESP8266-12F memiliki kegunaan sebagai modul untuk mengirim maupun menerima informasi berbasis protokol TCP/IP. Didalam sebuah modul ini terdapat digital I/O dan mikrokontroler yang dapat diprogram sebagai *standalone* maupun sebagai *slave* pada mikrokontroler[16]. **Gambar 4** merupakan modul WiFi ESP8266 12F.



Gambar 4. Modul WiFiESP8266 12F

C. Sensor Kelembapan Tanah (YL-69)

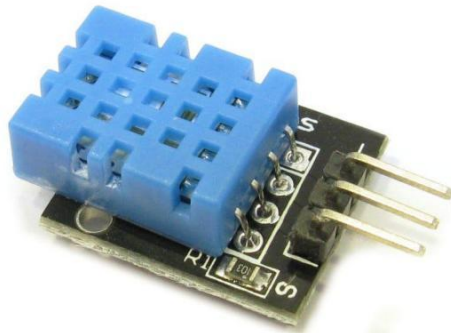
Sensor kelembapan tanah merupakan jenis sensor yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan tingkat air didalam tanah, sensor ini dapat mendeteksi tingkat air dengan sebuah probe dengan dua sisi berbeda. Dua sisi probe inilah yang berfungsi sebagai variabel resistor, dan pada prinsipnya jika variabel resistor pada probe ini mendeteksi banyak air didalam tanah. **Gambar 5** merupakan sensor kelembapan tanah.



Gambar 5. Sensor kelembapan Tanah

D. Sensor Suhu DHT11

Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi atau membaca suhu di sekitarnya. **Gambar 6** merupakan sensor suhu DHT11 yang digunakan dalam perancangan sistem ini.



Gambar 6. Sensor DHT11

E. Sensor pH Tanah

Sensor pH dapat mengetahui karakteristik keasaman sebuah medium (*acid*) atau basa (*alkaline*). **Gambar 7** merupakan sensor pH tanah yang di gunakan.

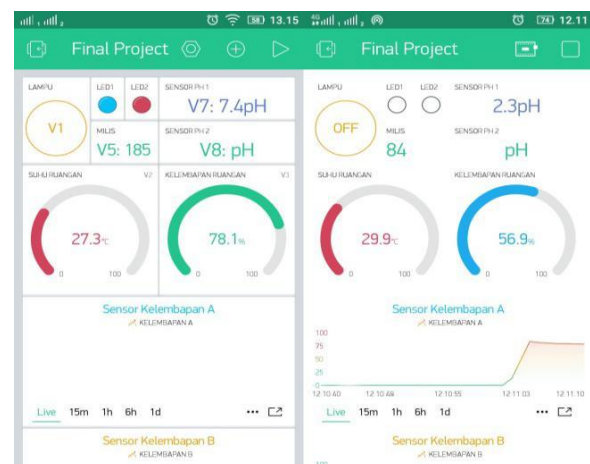


Gambar 7. Sensor pH Tanah

Dalam Perancangan perangkat lunak (*software*), setiap masukan sistem akan diterima dan diproses oleh perangkat lunak (*software*) yang kemudian akan menentukan arah keluaran (*output*) dari sistem yang dirancang. Kemudian sistem menggunakan aplikasi smartphone berbasis Android sebagai keluaran, juga sebagai pusat kontrol karena terdapat panel kontrol. Aplikasi yang digunakan pada perancangan merupakan aplikasi yang khusus digunakan untuk implementasi *Internet of things* (IoT), didalamnya terdapat panel-panel kontrol dan representasi data. **Gambar 8** merupakan antarmuka pengguna (*user interface*) aplikasi sistem yang dirancang, dimana terdapat widget-widget yang berfungsi sebagai kontrol dan representasi data. Widget tersebut haruslah diatur dengan sedemikian rupa dan disesuaikan dengan hardware yang terdapat pada sistem mikrokontroler agar aplikasi dan mikrokontroler dapat bekerja dan berkomunikasi satu dengan yang lainnya.

Alasan penggunaan metoda ini adalah agar pekerjaan petani lebih ringan dan bisa memonitoring suhu, kelembapan tanah, dan pH

pada suatu tanaman. Perancangan sistem Monitoring dan Penyiraman Tanaman Tomat ini menjelaskan mengenai integrasi berbagai sensor, dan aktuator yang kemudian data keluaran tersebut didapatkan oleh mikrokontroler lalu kemudian ditransfer kepada *user* sistem dengan bantuan jaringan WiFi. Kemudian pada bagian Perancangan perangkat lunak (*software*) bertujuan untuk menentukan setiap alur eksekusi dari perangkat sistem monitoring dan penyiraman tanaman tomat berbasis internet of things. Setiap masukan sistem akan diterima dan diproses oleh perangkat lunak (*software*) yang kemudian akan menentukan arah keluaran (*output*) dari sistem yang dirancang. Aplikasi yang digunakan pada perancangan merupakan aplikasi yang khusus digunakan untuk implementasi IoT, didalamnya terdapat panel-panel kontrol dan representasi data. Seperti **Gambar 8** yang telah disebutkan diatas merupakan antarmuka pengguna (*user interface*) aplikasi sistem yang dirancang, dimana terdapat widget-widget yang berfungsi sebagai kontrol dan representasi data.

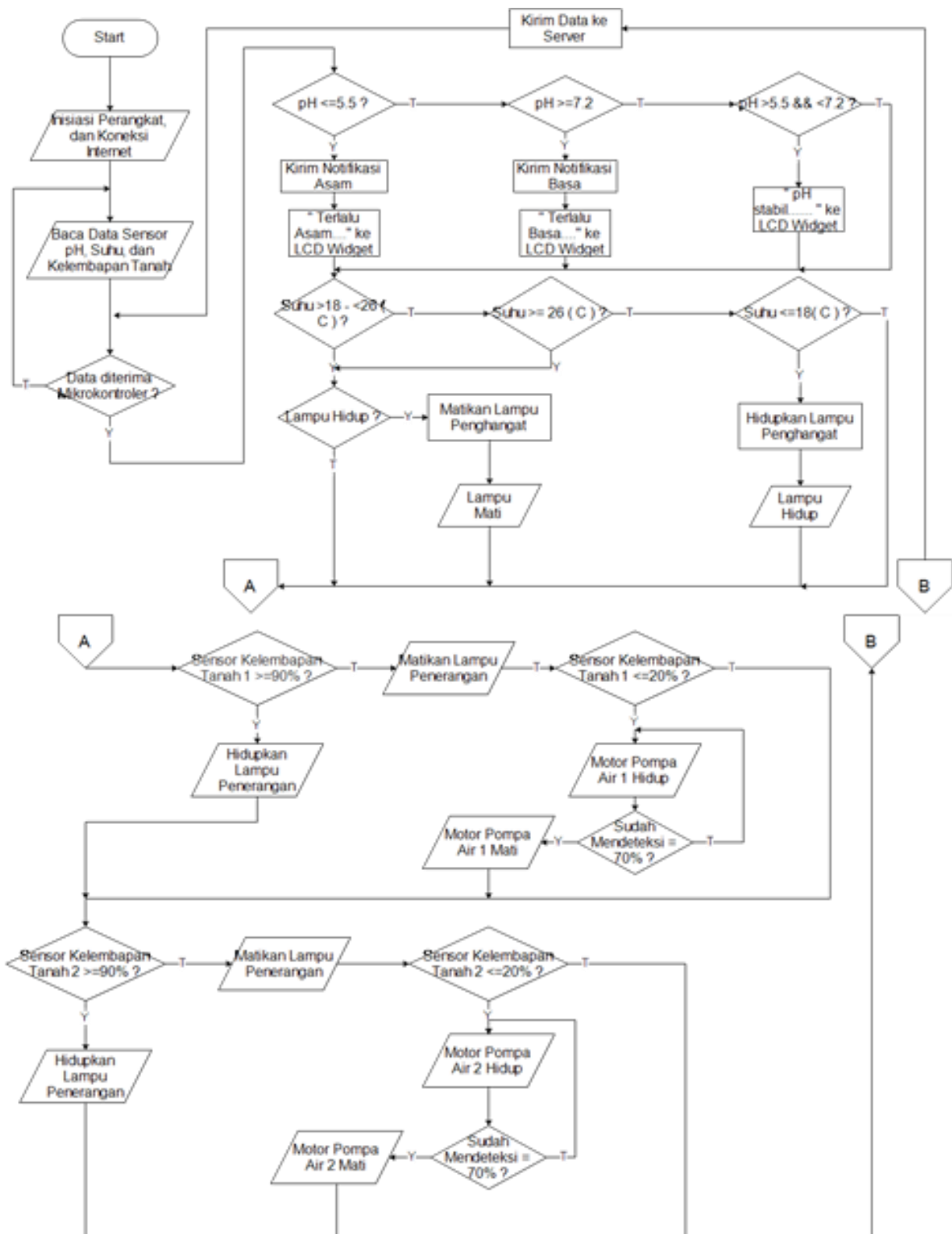


Gambar 8. Antarmuka pengguna sistem rancangan

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Sistem Software

Setiap masukan sistem akan diterima dan diproses oleh perangkat lunak (*software*) yang kemudian akan menentukan arah keluaran (*output*) dari sistem yang dirancang. **Gambar 9** merupakan *flowchart* sistem. Kemudian sistem menggunakan aplikasi smartphone berbasis Android sebagai keluaran, juga sebagai pusat kontrol karena terdapat panel kontrol maka perancangan aplikasi ini juga terdapat diagram alir (*flowchart*)nya. Seperti ditunjukan pada **Gambar 10**.

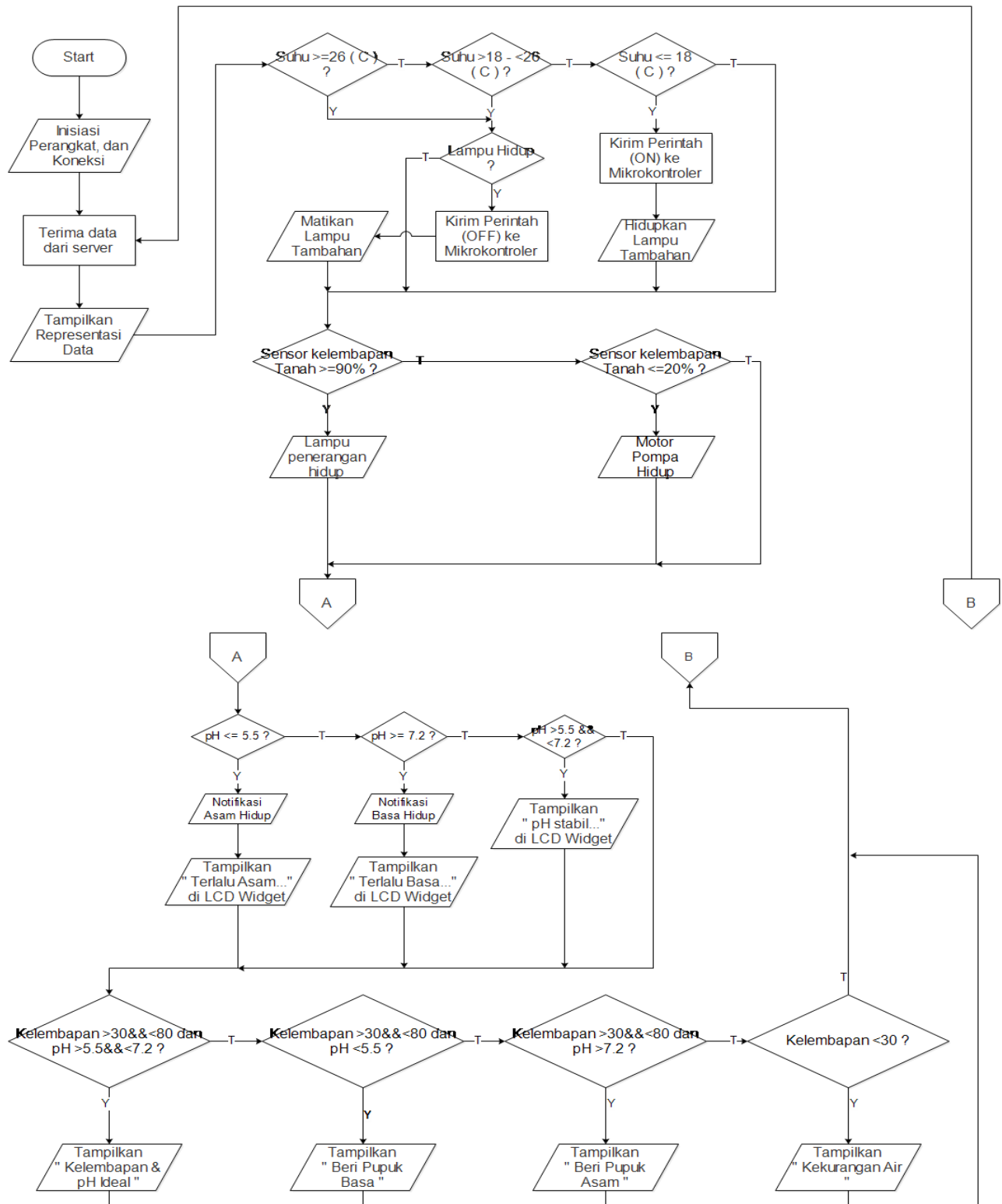


Gambar 9. Flowchart Sistem

B. Perancangan Sistem Hardware

Perancangan perangkat keras ini menjelaskan mengenai integrasi berbagai sensor, dan aktuator yang kemudian data keluaran tersebut didapatkan oleh mikrokontroler lalu kemudian ditransfer kepada *user* sistem dengan bantuan jaringan

WiFi seperti yang terlihat pada blok diagram di **Gambar 11**. **Gambar 11** merupakan skematik sistem akhir Hardware. Pada sistem tersebut terdapat beberapa komponen tambahan seperti motor beserta driver nya dan relay dengan lampunya sebagai indikator dan kontrol.



Gambar 10. Flowchart aplikasi Android

C. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

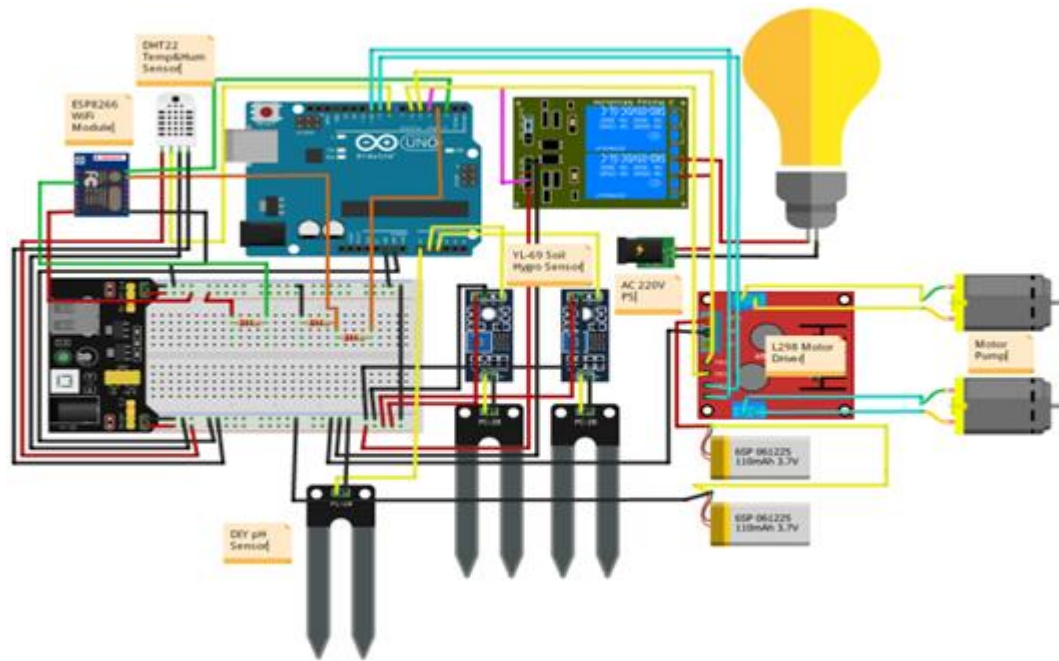
Perbandingan pengukuran sensor dengan alat ukur standar, ditunjukkan pada **Tabel I**. Dari tabel tersebut terdapat nilai galat yang persamaannya dapat dicari menggunakan rumus berikut

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{eksak} - \text{perkiraan}|}{\text{eksak}} \times 100\% \quad (1)$$

dimana :

eksak = nilai pembanding

perkiraan = nilai pengukuran



Gambar 11. Skematik perancangan akhir Hardware

Tabel I. Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

| Sampel | Siram Air (ml) | Nilai Eksak (%) | Nilai Perkiraan (%) | Galat (%) |
|------------------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------|
| 1 | 0 | 8 | 6 | 25.0 |
| 2 | 10 | 10 | 8 | 20.0 |
| 3 | 20 | 14 | 13 | 7.1 |
| 4 | 30 | 17 | 19 | 11.8 |
| 5 | 40 | 23 | 24 | 4.3 |
| 6 | 50 | 29 | 30 | 3.4 |
| 7 | 60 | 36 | 38 | 5.6 |
| 8 | 70 | 47 | 49 | 4.3 |
| 9 | 80 | 54 | 57 | 5.6 |
| 10 | 90 | 62 | 65 | 4.8 |
| 11 | 100 | 62 | 66 | 6.5 |
| 12 | 125 | 67 | 70 | 4.5 |
| 13 | 150 | 69 | 74 | 7.2 |
| 14 | 175 | 72 | 77 | 6.9 |
| 15 | 200 | 78 | 82 | 5.1 |
| Rerata galat percobaan | | | | 1.19 |

Nilai galat tersebut cukup kecil dan dapat ditoleransi sehingga penggunaan sensor kelembapan tanah YL69 ini dirasa cukup baik.

D. Hasil Pengujian Sensor pH Tanah

Sensor pH tanah yang digunakan terlebih dahulu dikalibrasi sehingga didapatkan persamaan yang akan dijadikan formula untuk mencari nilai pH asli. Metode yang digunakan adalah regresi linear dengan rumus :

$$Y = a + bX \quad (2)$$

dimana:

Y = variabel akibat

X = variabel faktor penyebab

a = konstanta

b = koefisien regresi (kemiringan)

Data pengujian sensor terhadap tanaman terdapat pada **Tabel II**. Melalui persamaan (2) didapat nilai a dan b sebagai berikut.

$$a = \frac{(2155)(1751.7) - (279.7)(12793.5)}{45(1751.7) - (279.7)^2}$$

$$a = \frac{196571.5}{594.4}$$

$$a = 330.70$$

$$b = \frac{45(12793.5) - (279.7)(2155)}{45(1751.7) - (279.7)^2}$$

$$b = \frac{-27046}{594.4}$$

$$b = -45.5$$

Maka nilai persamaan (2) adalah.

$$Y = 330.70 - 45.5X$$

Dari nilai Y tersebut diatas, maka dapat disimpulkan persamaan yang akan digunakan pada skrip kode untuk mencari nilai pH adalah sebagai berikut.

$$X (pH) = \frac{330.46 - Y(ADC)}{45.49} \quad (3)$$

Selanjutnya akan dilakukan pengujian pada tanaman tomat. Perbandingan pengukuran sensor dengan alat ukur pembanding ditunjukkan pada **Tabel III**,

Tabel II. Data Pengujian Sensor Terhadap Tanaman

| Variabel X (pH) | Variabel Y (ADC) | X ² | Y ² | XY |
|--------------------|---------------------|----------------|----------------|---------------|
| 5.4 | 94 | 29.16 | 8836 | 507.6 |
| 5.4 | 92 | 29.16 | 8464 | 496.8 |
| 5.4 | 90 | 29.16 | 8100 | 486 |
| 5.5 | 87 | 30.25 | 7569 | 478.5 |
| 5.5 | 85 | 30.25 | 7225 | 467.5 |
| 5.5 | 82 | 30.25 | 6724 | 451 |
| 5.5 | 80 | 30.25 | 6400 | 440 |
| 5.6 | 77 | 31.36 | 5929 | 431.2 |
| 5.6 | 76 | 31.36 | 5776 | 425.6 |
| 5.7 | 74 | 32.49 | 5476 | 421.8 |
| 5.7 | 72 | 32.49 | 5184 | 410.4 |
| 5.7 | 70 | 32.49 | 4900 | 399 |
| 5.7 | 68 | 32.49 | 4624 | 387.6 |
| 5.8 | 65 | 33.64 | 4225 | 377 |
| 5.8 | 63 | 33.64 | 3969 | 365.4 |
| 5.9 | 61 | 34.81 | 3721 | 359.9 |
| 5.9 | 58 | 34.81 | 3364 | 342.2 |
| 6 | 52 | 36 | 2704 | 312 |
| 6 | 51 | 36 | 2601 | 306 |
| 6.1 | 49 | 37.21 | 2401 | 298.9 |
| 6.1 | 47 | 37.21 | 2209 | 286.7 |
| 6.2 | 46 | 38.44 | 2116 | 285.2 |
| 6.2 | 45 | 38.44 | 2025 | 279 |
| 6.3 | 43 | 39.69 | 1849 | 270.9 |
| 6.3 | 41 | 39.69 | 1681 | 258.3 |
| 6.4 | 40 | 40.96 | 1600 | 256 |
| 6.4 | 37 | 40.96 | 1369 | 236.8 |
| 6.4 | 35 | 40.96 | 1225 | 224 |
| 6.5 | 33 | 42.25 | 1089 | 214.5 |
| 6.5 | 31 | 42.25 | 961 | 201.5 |
| 6.6 | 30 | 43.56 | 900 | 198 |
| 6.6 | 28 | 43.56 | 784 | 184.8 |
| 6.7 | 27 | 44.89 | 729 | 180.9 |
| 6.7 | 25 | 44.89 | 625 | 167.5 |
| 6.7 | 24 | 44.89 | 576 | 160.8 |
| 6.8 | 23 | 46.24 | 529 | 156.4 |
| 6.8 | 23 | 46.24 | 529 | 156.4 |
| 6.8 | 22 | 46.24 | 484 | 149.6 |
| 6.9 | 20 | 47.61 | 400 | 138 |
| 6.9 | 18 | 47.61 | 324 | 124.2 |
| 7 | 16 | 49 | 256 | 112 |
| 7 | 15 | 49 | 225 | 105 |
| 7 | 14 | 49 | 196 | 98 |
| 7.1 | 13 | 50.41 | 169 | 92.3 |
| 7.1 | 13 | 50.41 | 169 | 92.3 |
| $\Sigma X =$ | $\Sigma Y =$ | $\Sigma X^2 =$ | $\Sigma Y^2 =$ | $\Sigma XY =$ |
| 279.7 | 2155 | 1751.7 | 131211 | 12793.5 |

Tabel III. Pengujian sensor pH pada tanaman tomat

| Perco- baan | Nilai Pembanding (pH Meter) | Nilai Terukur (Sensor pH) | Galat (%) |
|----------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------|
| 1 | 6.0 | 5.99 | 0.16 % |
| 2 | 6.0 | 5.97 | 0.5 % |
| 3 | 6.1 | 5.95 | 2.46 % |
| 4 | 6.2 | 6.03 | 2.74 % |
| 5 | 6.2 | 6.14 | 0.97 % |
| 6 | 6.3 | 6.20 | 1.59 % |
| 7 | 6.4 | 6.29 | 1.71 % |
| 8 | 6.5 | 6.38 | 1.85 % |
| 9 | 6.6 | 6.45 | 2.27 % |
| 10 | 6.6 | 6.49 | 1.66 % |

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk pengujian pada tabel 5 memiliki nilai galat yang rendah (<3%) nilai galat tertinggi terdapat pada nilai 2.74%, dan terendah terdapat di nilai 0.16%. Maka sensor ini dapat dikatakan baik untuk pengujian dan pengaplikasian sistem.

E. Hasil Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan selama 20 menit untuk mengetes apakah sensor berjalan dengan baik sebelum diaplikasikan kedalam sistem. Digunakan alat ukur pembanding yang nantinya akan dijadikan acuan untuk mencari persentase galat. **Tabel IV** merupakan pengujian sensor suhu.

Berdasarkan hasil pada **Tabel IV**, dapat dilihat galat rata-rata pada 20 percobaan selama 20 menit, didapat galat yang hanya bernilai <1% (0.92%). Maka dari itu dapat disimpulkan sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi suhu untuk pengaplikasian didalam *greenhouse*.

F. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pada pengujian ini keseluruhan integrasi antara beberapa sensor dan aktuator dapat berjalan dengan baik apabila langsung diaplikasikan kedalam tanaman tomat. Menggunakan prinsip *Internet of things* (IoT), dimana seluruh parameter ukur akan dapat langsung dipantau pada sebuah aplikasi pada telepon pintar pengguna. Parameter ukur tersebut akan memberi tahu apakah tanaman tomat yang sedang di pantau oleh sistem dalam kondisi baik ataupun tidak baik, tergantung seperti apa pembacaan dari sensor yang dipasang. **Tabel V** merupakan percobaan selama 24 jam dalam sehari dimana memperlihatkan sistem bekerja *memonitoring* tanaman tomat.

Tabel IV. Pengujian perbandingan sensor dan alat ukur pembanding

| Menit | HTC-2 (°C&%RH) | | DHT11 (°C&%RH) | | Galat (%) | |
|---------------------|-------------------|----|-------------------|-------|--------------|-------|
| | Suhu | RH | Suhu | RH | Suhu | RH |
| 1 | 27.6 | 54 | 28.30 | 60.30 | 2.54 | 11.67 |
| 2 | 27.5 | 56 | 28.10 | 61.20 | 2.18 | 9.29 |
| 3 | 27.5 | 56 | 27.70 | 66.20 | 0.73 | 18.21 |
| 4 | 27.5 | 56 | 27.50 | 63.50 | 0.00 | 13.39 |
| 5 | 27.5 | 56 | 27.30 | 62.50 | 0.73 | 11.61 |
| 6 | 27.4 | 56 | 27.10 | 64.50 | 1.09 | 15.18 |
| 7 | 27.4 | 56 | 27.00 | 64.00 | 1.46 | 14.29 |
| 8 | 27.4 | 56 | 27.00 | 64.10 | 1.46 | 14.46 |
| 9 | 27.4 | 56 | 26.90 | 63.50 | 1.82 | 13.39 |
| 10 | 27.4 | 56 | 26.90 | 63.80 | 1.82 | 13.93 |
| 11 | 27.3 | 56 | 26.90 | 63.90 | 1.47 | 14.11 |
| 12 | 27.3 | 56 | 26.90 | 64.00 | 1.47 | 14.29 |
| 13 | 27.3 | 56 | 26.90 | 65.00 | 1.47 | 16.07 |
| 14 | 27.3 | 56 | 26.90 | 64.70 | 1.47 | 15.54 |
| 15 | 27.2 | 56 | 26.90 | 62.70 | 1.10 | 11.96 |
| 16 | 27.2 | 56 | 26.90 | 63.00 | 1.10 | 12.50 |
| 17 | 27.3 | 56 | 26.80 | 63.30 | 1.83 | 13.39 |
| 18 | 27.3 | 56 | 26.80 | 63.60 | 1.83 | 13.57 |
| 19 | 27.3 | 56 | 26.80 | 64.40 | 1.83 | 15.00 |
| 20 | 27.3 | 56 | 26.80 | 64.10 | 1.83 | 14.46 |
| Galat Rata-rata (%) | | | | | 0.92 | 13.82 |

Pada percobaan tersebut didapat beberapa nilai rata-rata pembacaan sensor seperti pembacaan sensor pH tanah yaitu pH 1 = 6.39 dimana selama percobaan 24 jam nilai pH tersebut cenderung naik turun, namun masih dalam batas toleransi karena nilai nya tidak terlalu memiliki simpangan yang besar. Sedangkan pembacaan suhu udara cenderung relatif terhadap waktu

pengujian dimana nilai terbesar didapat pada pengujian siang hari saat matahari sedang terik yaitu 35.8 dimana suhu tersebut cenderung tidak baik untuk tanaman tomat apabila terlalu lama, namun pada pengujian selanjutnya nilai suhu tersebut kembali turun. Sedangkan nilai terendah ada pada pukul 6 pagi mencapai 19.6. Kemudian pada pembacaan sensor kelembapan nilai kelembapan kedua tanaman tomat tidak sampai menyentuh ambang batas (*threshold*) untuk menyalakan pompa air yaitu 20%, sehingga selama 24 jam pengujian pompa selalu dalam keadaan mati. Sebelum melakukan pengujian memang tanaman terlebih dahulu disiram air. Tanaman tomat yang dipasang sensor kelembapan tanah pun selama pengujian cenderung mempertahankan kelembapan nya karena dapat dilihat pada **Tabel V** nilainya cenderung bervariasi namun terdapat ketidakstabilan karena dapat dikarenakan beberapa faktor, salah satunya kedalaman tanah untuk penempatan sensor dapat berbeda tingkat kelembapan nya. Lalu sensor yang digunakan memang mendeteksi tidak keseluruhan tanah, dan faktor kelembapan udara yang tinggi pada malam hari mengakibatkan tanah tetap dalam kondisi lembap.

Tabel V. Pengujian keseluruhan system

| No | Waktu | pH1 | pH2 | SM1 | SM2 | AT | AH | Keterangan Kondisi Tanaman | Pompa Air 1 | Pompa Air 2 |
|----|-------|------|-----|-----|-----|------|------|----------------------------------|----------------|----------------|
| 1 | 13.00 | 6.67 | 6.8 | 70 | 73 | 28.5 | 64.3 | Ideal | Mati | Mati |
| 2 | 14.00 | 6.08 | 6.9 | 75 | 74 | 28.9 | 56.3 | Ideal | Mati | Mati |
| 3 | 15.00 | 6.54 | 6.9 | 74 | 74 | 28.7 | 55.5 | Ideal | Mati | Mati |
| 4 | 16.00 | 6.08 | 6.8 | 70 | 65 | 28.2 | 61.7 | Ideal | Mati | Mati |
| 5 | 17.00 | 6.05 | 6.9 | 68 | 65 | 26.4 | 70.1 | Ideal | Mati | Mati |
| 6 | 18.00 | 6.16 | 6.9 | 66 | 62 | 25.6 | 74.3 | Ideal | Mati | Mati |
| 7 | 19.00 | 6.36 | 6.8 | 64 | 68 | 25.2 | 76.8 | Ideal | Mati | Mati |
| 8 | 20.00 | 6.41 | 6.9 | 61 | 62 | 24.2 | 88.9 | Ideal | Mati | Mati |
| 9 | 21.00 | 6.63 | 6.8 | 60 | 63 | 23.4 | 92.6 | Ideal | Mati | Mati |
| 10 | 22.00 | 6.45 | 6.9 | 62 | 62 | 22.4 | 93.5 | Ideal | Mati | Mati |
| 11 | 23.00 | 6.21 | 6.9 | 60 | 59 | 21.8 | 94.1 | Ideal | Mati | Mati |
| 12 | 24.00 | 6.54 | 6.8 | 62 | 67 | 21.8 | 93.1 | Ideal | Mati | Mati |
| 13 | 01.00 | 6.58 | 6.8 | 53 | 55 | 22.2 | 92.6 | Ideal | Mati | Mati |
| 14 | 02.00 | 6.65 | 6.8 | 55 | 50 | 21.9 | 91.7 | Ideal | Mati | Mati |
| 15 | 03.00 | 6.25 | 6.8 | 51 | 52 | 20.6 | 92.1 | Ideal | Mati | Mati |
| 16 | 04.00 | 6.61 | 6.9 | 50 | 62 | 20.5 | 94 | Ideal | Mati | Mati |
| 17 | 05.00 | 6.32 | 6.8 | 48 | 58 | 19.6 | 95.3 | Ideal | Mati | Mati |
| 18 | 06.00 | 6.67 | 6.9 | 49 | 62 | 19.3 | 95.5 | Ideal | Mati | Mati |
| 19 | 07.00 | 6.49 | 6.9 | 61 | 69 | 21.2 | 91 | Ideal | Mati | Mati |
| 20 | 08.00 | 6.76 | 6.9 | 40 | 53 | 27.6 | 66.9 | Ideal | Mati | Mati |
| 21 | 09.00 | 5.97 | 7 | 40 | 55 | 32.4 | 48.1 | Ideal | Mati | Mati |
| 22 | 10.00 | 6.23 | 6.9 | 39 | 53 | 35.8 | 39.3 | Ideal | Mati | Mati |

Hasil dari pengujian keseluruhan sistem sesuai harapan catatan riset, dimana seluruh sistem dapat bekerja dengan baik sesuai apa yang di inginkan peneliti. Penelitian dan perancangan sistem ini sudah cukup mampu memberikan kontribusi baik bagi dunia pertanian karena berdasarkan data di atas sangat cukup akurasi pembacaan yang di hasilkan oleh sensor. Namun di balik Hasil itu masih saja ada batasan atau kekurangan dari metoda penelitian dalam perancangan sistem ini, yakni metoda yang di gunakan hanya dapat diterapkan di sebuah *mini greenhouse*, sensor pH yang harus di kalibrasi ulang jika di pindahkan ketanaman tomat yg lainnya dan hanya mampu untuk memantau satu atau dua tanaman yang sejenis saja tidak untuk pertanian skala besar.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan poin sebagai berikut.

1. Berdasarkan uji coba dan analisis pada pembahasan sebelumnya dan **Tabel V** informasi mengenai tingkat kelembapan tanah, pH, dan suhu sudah berhasil ditampilkan pada aplikasi android bernama Blynk.
2. Berdasarkan uji coba dan analisis tingkat kelembapan tanah tanaman tomat didapatkan hasil dimana nilai rata-rata pengujian menggunakan sensor dan alat pembanding yaitu sebesar 1.19%. Sedangkan hasil pengujian sensor pH dengan alat pembanding dengan menggunakan metode regresi, nilai yang didapat pada rata-rata galat pengujian adalah 1.59% dimana nilai tersebut tidak terlalu berpengaruh pada pembacaan serta kondisi tanaman. Lalu pada pengujian sensor suhu dan kelembapan udara didapat tingkat rata-rata galat sebesar 0.92% untuk pembacaan suhu, nilai tersebut bisa dikatakan ideal karena sensor yang digunakan memang dapat dikatakan akurat dalam pembacaan suhu.
3. Penerapan sistem IoT pada monitoring tanaman tomat dengan pengujian selama 24 jam memperlihatkan hasil yang baik dimana pada tabel 7 kondisi tanaman selama 24 jam pengujian selalu dalam kondisi ideal berdasarkan pembacaan ketiga sensor yang merupakan parameter ukurnya. Pada beberapa percobaan, peneliti mencoba menguji dengan menempatkan tanaman yang diteliti terdapat di kota bandung, sedangkan aplikasi Blynk

tersebut digunakan di kota subang. Selama terdapat koneksi internet dan perangkat sistem dalam keadaan hidup memonitor tanaman dapat terus dilakukan.

4. Berdasarkan pengujian dengan perbedaan lokasi sistem dengan aplikasi Blynk, alat yang dibuat sudah dapat akses dari jarak jauh, dimana sistem *monitoring* diletakan di Kota Bandung sementara aplikasi digunakan di Kota Subang.
5. Sistem yang dirancang dapat membantu petani dalam meningkatkan efektivitas dalam kegiatan bertanam tanaman tomat. Dan mampu mengontrol kondisi tomatnya setiap saat untuk menjaga kualitasnya agar tetap optimal dan tidak terserang dari kegagalan panen.

Sistem yang dirancang oleh penulis masih memiliki banyak kekurangan, demi perbaikan dan perkembangan kedepan sebagai riset lanjutan maka penulis usulkan beberapa saran perbaikan sebagai berikut.

1. Sensor pH tanah yang digunakan masih memerlukan kalibrasi ulang dengan metode regresi linear, secara statistika memang cukup baik namun apabila dilihat kembali pada bagian hasil dan diskusi, metode kalibrasi tersebut memang kurang efisien dalam penerapan sistem dikarenakan untuk menguji satu tanah dengan tanah lain terkadang pembacaan yang dihasilkan sensor masih cenderung tidak stabil.
2. Sensor kelembapan tanah yang masih kurang akurat apabila dibandingkan dengan alat pembanding lain.
3. Sistem dapat lebih dikembangkan untuk meneliti atau *memonitoring* jenis-jenis tanaman yang lain yang membutuhkan penanganan ekstra seperti macam buah-buahan dan sayuran.
4. Alangkah baiknya untuk penerapan sistem serta penelitian yang lebih baik agar untuk penanganan tingkat pH dapat dilakukan secara otomatis oleh sistem, seperti pemberian takaran pupuk yang sesuai untuk pengasaman, pemberian takaran mineral-mineral tanah yang digunakan untuk membuat tanah lebih ideal bagi tanaman.
5. Sebagai penelitian lanjutan apabila akan dipasang pada skala pertanian yang lebih besar serta luas maka sistem harus lebih ditingkatkan lagi pada berbagai blok sistem nya.

6. Sistem dapat dikembangkan lagi dengan tidak hanya satu jenis tanaman saja yang di pantau namun mampu *memotiring* beberapa tanaman di atas tanah yang sama dan berkedatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. B. Renata, "Tomatoes and Tomato Products as Dietary Sources of Antioxidants," *Agriculture Journal*, vol. 25, p. 4, 2009.
- [2] J. M. Karienyee, "Influence of Rainfall Variability on Tomato Production among Small Scale Farmers in Kieni East Sub County," *Journal of Arts & Humanities*, vol. 8, no. 2, pp. 7-9, 2018.
- [3] J. Ristaiono, "Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching," *Soil Biology & Biochemistry Journal*, vol. 4, no. 2, p. 3, 2010.
- [4] R. Hong, "Constant, Fluctuating and Evecutive Temperature and Seed Longevity: a Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Exemplar," *Journal of Annalis Botany Company*, vol. 8, no. 13, p. 25, 2015.
- [5] A. Lado and S. Yahaya., "Productivity of Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) as affected by Cultivar and Organic amendment in Kano," *Journal of Organic Agriculture and Environment*, vol. 6, no. 1, p. 17, 2018.
- [6] Y. Jitsuyama, "The Processing Tomato Cultivar 'Natsunoshun' is Susceptible to an Excess or Lack of Soil Moisture after the Flowering Stage," *The Horticulture Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 25, 2017.
- [7] P. Subhradeep, "Effect of intercropping on the growth, yield parameters and yield of tomato and vegetable intercrops in solid soilless culture under protected condition," *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 4, p. 1655, 2017.
- [8] N. Sakthipriya, "An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network," *Middle-East Journal of Scientific Research*, vol. 20, no. 9, p. 1127, 2014.
- [9] J. Francisco, "Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 9, no. 39, p. 395, 2017.
- [10] G. Kenetch, "Effective monitoring of agriculture," *Journal Enviromental Monitoring*, vol. 14, p. 723, 2012.
- [11] R. Shamhiri., "Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture A transition to plant factories and urban agriculture," *Int Journal Agric & Biol Eng*, vol. 11, no. 1, p. 2, 2018.
- [12] F. Tongke, "Agriculture Based on Cloud Computing and IOT," *Journal of Convergence Information Technology(JCIT)*, vol. 8, no. 2, p. 2, 2013.
- [13] M. I. Hoffert, "Advanced Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet," *Journal Scines Compass*, vol. 298, no. 88, p. 981, 2009.
- [14] R. Alexander, "Greenhouse gases: the choice of volatile anesthetic doesmatter," *Canadian Journal of Anesthesia*, vol. 65, no. 2, p. 221, 2018.
- [15] G. Alicia, "New Media Art, Design and the Arduino Microcontroller," *International Conference on Control and Automation (ICCA)*, vol. 6, no. 19, p. 98, 2013.
- [16] A. Karumbaya and G. Satheesh, "IoT Empowered Real Time Environment Monitoring System," *International Journal of Computer Applications*, vol. 129, no. 5, p. 975, 2015.